

# PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO DE EXPERIMENTOS APLICADO A MELHORIA DO PROCESSO DE SOLDA POR PLASMA DE ARCO TRANSFERIDO SOBRE A SEDE DAS VÁLVULAS AUTOMOTIVAS<sup>1</sup>

*Flávio Bonafé Oliveira<sup>2</sup>  
Reinaldo de Souza Pinto<sup>2</sup>  
Ana Karina Guedes<sup>2</sup>  
Ângelo dos Reis Magalhães<sup>2</sup>  
Carlos Alberto Chaves<sup>2</sup>*

## **Resumo**

As válvulas automotivas estão sendo cada vez mais exigidas pelo motor, principalmente depois do desenvolvimento dos motores flexíveis. A área que mais sofre o impacto desta exigência é a sede da válvula, que entra em contato direto com o cabeçote do motor. Para que a peça suporte as condições de trabalho, é depositada uma liga de cobalto sobre sede através do processo de solda por plasma de arco transferido. Este artigo tem por objetivo apresentar uma aplicação do delineamento de experimentos para a otimização do processo de solda por plasma de arco transferido sobre sede de válvulas utilizadas em motores de combustão interna. Para a realização desta experimentação foi utilizado à técnica de fatoriais completos, onde os fatores: velocidade da mesa, raio do canal soldado, espessura da cabeça da válvula e modelo do bico foram combinados com a finalidade de identificar as melhores condições de soldagem e a resposta analisada foi à integridade da solda sobre a sede. Como resultado, o experimento mostrou à forte influência que os fatores principais raio do canal soldado, velocidade da solda e modelo do bico da tocha exercem sobre a integridade da solda sobre a sede. No estudo de caso que será apresentado neste artigo o delineamento de experimentos demonstrou ser de uma grande importância na melhoria de processos e na tomada de decisão baseada em dados experimentais.

**Palavras-chave:** Planejamento estatístico de experimentos; Solda por plasma de arco transferido; Válvulas automotivas.

## **STATISTIC PLANNING OF EXPERIMENTS TO OPTIMIZE THE PLASMA SEAT WELDING PROCESS OF THE AUTOMOTIVE VALVES**

### **Abstract**

The automotive valves have been increasingly required by the engine especially after the development of engines that are able to work with gasoline and ethanol. The seat of the valve is very required because it works in directly contact with the engine and an alloy of cobalt is welding in the seat by a plasma transferred arc process. The objective of this article is to optimize the plasma seat welding process through a design of experiments. A full factorial experiment was conducted and the studied factors: speed of the table, radius of the welding channel, thickness of the head of the valve and spout model were combined in order to identify the best conditions for welding and the response studied was the rate of defective parts. As a result, we had the factors that most influenced the response studied were: the main factor radius of the welding channel, speed of the welding, and the model of the spout. In the case that showed in this article the design of experiments were very important for the improvement of the process.

**Key words:** Planning of experiments; Plasma welding process and automotive valves.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Universidade de Taubaté – Departamento de Engenharia de Produção*

# 1 INTRODUÇÃO

No atual cenário onde o mercado brasileiro sofre as perdas de lucratividade com vendas externas, decorrentes de um dólar desvalorizado e também onde empresas asiáticas ganham cada vez mais mercado com produtos de ponta e com preços cada vez mais competitivos, é essencial que se tenha como via de regra, constante melhoramento dos custos de manufatura, aumentando assim a competitividade perante os concorrentes.

Esse trabalho de certa forma vai de encontro com essa realidade, buscando um melhor entendimento das operações de solda por plasma na sede das válvulas automotivas, a fim de obter um melhor aproveitamento dos recursos ligados a esta operação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Planejamento Estatístico de Experimentos

O planejamento de experimentos são testes conduzidos de forma planejada, em que as entradas (ou fatores ou variáveis controladas) são alteradas de modo planejado para avaliar seu impacto sobre uma saída (ou resposta).

Os objetivos do planejamento de experimentos são: determinar que fatores de entrada (X's) possuem maior influência sobre a resposta (Y), determinar como ajustar os fatores (X's), de modo que a resposta (Y) tenha o valor desejado, determinar como ajustar os (X's) de modo que a variação da resposta (Y) seja a menor possível e determinar como ajustar os fatores (X's) de modo que os efeitos das variáveis não controladas (Z's) sobre a resposta (Y) sejam mínimos. A Figura 1 mostra a relação entre as entradas e saídas de um processo.

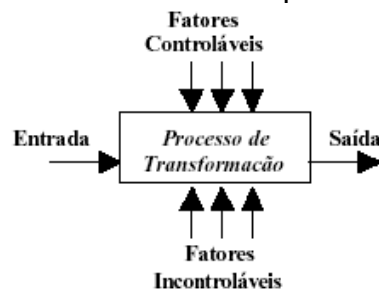


Figura 1. Modelo geral de um processo ou sistema.<sup>(1)</sup>

Os fatores são as variáveis independentes ou entradas do processo (X's), os níveis são os possíveis valores que os fatores podem assumir no experimento e a resposta é a variável dependente do experimento ou a saída do processo (Y), que será empregada para avaliar a influência dos fatores.

Das diversas categorias de experimentos existentes, os fatoriais completos  $2^k$  (onde k é o número de fatores do experimento) são um dos mais importantes na otimização dos processos. Neste tipo de experimento todas as possíveis combinações entre níveis e fatores são analisadas, permitindo assim uma melhor avaliação dos resultados finais.

Após calculado os efeitos principais e as interações, é preciso avaliar se estes são estatisticamente significativos ou não. Ou seja, o fato de um efeito ter resultado superior aos outros não significa, necessariamente, que este seja influente na resposta.

A análise dos efeitos pode ser feita de três diferentes modos: utilizando o diagrama de Pareto, utilizando o gráfico de probabilidade normal ou utilizando a análise de variância (ANOVA).

O método de análise de variância (ANOVA) baseia-se em particionar a variância total de uma determinada resposta (variável dependente) em duas partes: a primeira devida ao modelo de regressão e a segunda devida aos resíduos (erros). Se forem efetuadas replicações de determinadas experiências, a ANOVA também permite decompor a variação dos resíduos numa parte relacionada com o erro do modelo e outra parte relacionada com o erro de replicação.

Em um experimento, existe o interesse em testar se há diferenças entre as médias dos tratamentos, o que equivale a testar as hipóteses:

$$\begin{cases} H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_I = 0 \\ H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ para pelo menos um } i . \end{cases}$$

Note que, se a hipótese nula for verdadeira, todos os tratamentos terão uma média comum  $\mu$ .

A análise de variância baseia-se na decomposição da variação total da variável resposta em partes que podem ser atribuídas aos tratamentos (variância entre) e ao erro experimental (variância dentro).

Essa variação pode ser medida por meio das somas de quadrados que são organizadas em uma tabela, denominada tabela da análise de variância. Para testar a hipótese  $H_0$ , utiliza-se o teste F ou o p-valor. Neste estudo a hipótese é testada pelo p-valor.

Se o *p-valor* <  $\alpha$ , rejeitamos a hipótese de nulidade  $H_0$ . Caso contrário, não se rejeita a hipótese de nulidade  $H_0$ , ou seja, não há evidências de diferenças significativas entre os tratamentos, ao nível  $\alpha$  de significância escolhido.

## 2.2 Processo de Solda por Plasma de Arco Transferido

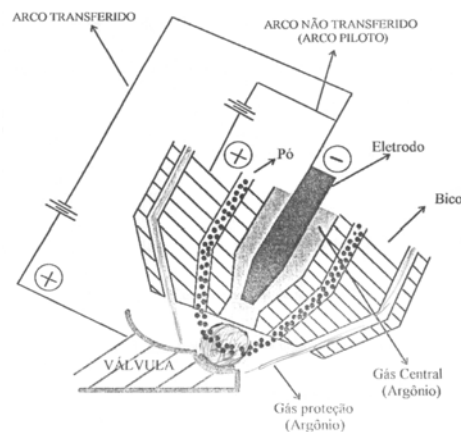
O processo de deposição plasma utilizando pó como metal de adição, consagrado pela literatura como PTA (do inglês Plasma Transferred Arc – plasma de arco transferido),<sup>(2)</sup> foi desenvolvido de maneira a se conseguir um processo que oferecesse uma maior flexibilidade do ponto de vista da utilização de materiais, uma vez que a manufatura de pós permite uma maior flexibilização na seleção de materiais de adição, aliada a maiores espessuras de depósito em relação ao processo laser e menores diluições em relação aos processos convencionais.<sup>(3)</sup>

A deposição de materiais por PTA é um processo no qual o pó de uma liga é introduzido no jato Plasma para formar uma poça fundida sobre a peça. O depósito resultante é denso e homogêneo, com excelente ligação metalúrgica ao metal de base.

A Figura 2 mostra esquematicamente os detalhes característicos de uma tocha de soldagem a plasma. O gás de plasma é direcionado para a tocha de soldagem, alimentando a cavidade onde se encontra o eletrodo de tungstênio. Ao passar por esta cavidade, o gás é então aquecido pelo intenso calor gerado no arco e se torna ionizado, formando o plasma. O fluxo contínuo de gás e o efeito de expansão termina na região do arco fazem com que o plasma seja expelido da tocha através do orifício constritor, impulsionando a altas velocidades. A medida que passa através do bocal, o arco é colimado e focado de tal forma que o calor gerado fica concentrado em uma área relativamente pequena sobre a peça.<sup>(4)</sup>

O gás do plasma é normalmente de baixa vazão, da ordem de 0,25 l/min a 5 l/min, em adição a alta turbulência causada pela alta velocidade o feixe de plasma permite que partículas do ar atmosférico sejam carregados consigo até a poça de fusão, não sendo possível que o gás do plasma sozinho forneça uma proteção adequada na solda contra a contaminação atmosférica. Para a aplicação de soldagem na sede de válvulas automotivas é utilizado um bocal externo, que é responsável pela proteção da área de incidência do plasma sobre a peça e a área de fusão.

A abertura do arco é feita por um arco piloto de baixa corrente, que é aberto entre o eletrodo de tungstênio e o bocal de constricção. O arco piloto é iniciado pela imposição de um sinal de alta frequência em um curto período de tempo para começar a ionização do gás. Desta forma, o percurso entre o eletrodo e a peça se torna energeticamente mais favorável para a abertura do arco principal devido a presença de partículas ionizadas que são expelidas através do bocal da tocha.<sup>(4)</sup>



**Figura 2.** Desenho esquemático de uma tocha PTA

O processo de plasma apresenta um maior número de variáveis de soldagem em relação a outros processos convencionais. Normalmente, o ajuste de uma condição de soldagem para uma determinada aplicação é feito apenas considerando a corrente, velocidade de soldagem e vazão do gás de plasma. Entretanto, estudos anteriores mostraram que no processo de soldagem da sede das válvulas automotivas variações de espessura da cabeça da válvula, raio do canal a ser soldado e modelo de bico da tocha são fatores significativos para o índice de válvulas defeituosas.

Para a realização deste estudo foram considerados os parâmetros velocidade de soldagem, modelo de bico da tocha, raio do canal a ser soldado, espessura da cabeça da válvula e a variável resposta é o índice de válvulas defeituosas, os mesmos serão detalhados a seguir.

### 2.2.1 Velocidade de soldagem

A velocidade de soldagem é um dos parâmetros mais importantes na determinação da geometria do cordão da solda, pois influencia a taxa de calor transferido à peça por unidade de comprimento soldado. Este parâmetro também tem influência sobre os níveis de distorção e tensões residuais no componente soldado (proporcionais ao tamanho da poça de fusão formada) e, principalmente, na produtividade do processo.<sup>(5)</sup>

Normalmente, a velocidade de soldagem é ajustada em função dos demais parâmetros de soldagem e pode ser utilizada como fator de correção da penetração da solda. As faixas de variação da velocidade de soldagem para as quais a estabilidade da solda da sede da válvula é assegurada são normalmente pequenas.

Quando se considera o fator produtividade, a soldagem deve ser realizada com as velocidades mais elevadas possíveis. Entretanto, uma velocidade excessiva de deposição pode resultar em defeitos, tais como mordeduras, trincas, porosidade e imperfeições superficiais.

## 2.2.2 Tocha de soldagem - modelo do bico da tocha

A tocha serve de suporte para os consumíveis e fornece um fluido refrigerante para estas peças, este fluido pode ser gás ou água. O distribuidor ou difusor de gás é construído de material isolante e tem como principal finalidade de dar sentido rotacional ao gás. O isolador tem como função isolar o eletrodo e a pinça e a capa tem como objetivo fixar o eletrodo no corpo da tocha. A capa do gás tem como função manter os consumíveis alinhados.

O bico da tocha tem a função de guiar o fluxo de gás e do material a ser depositado na sede das válvulas e atualmente é utilizado um bico com 02 furos. Será testado um bico de 04 furos para avaliar a possibilidade de se aumentar o fluxo do material a ser depositado, aumentando também a velocidade de solda para ganhar tempo no ciclo da soldagem.

## 2.3 Válvulas Automotivas

As válvulas são componentes bastante solicitados durante o funcionamento do motor e pode afetar diretamente seu desempenho. O projeto das mesmas depende basicamente do rigor das condições de trabalho, nível de desempenho desejado e durabilidade.

Os principais fatores considerados para os materiais e as construções das válvulas são temperatura de trabalho, ambiente corrosivo (proveniente dos gases de combustão) e níveis de esforços impostos sobre as válvulas.

Neste trabalho serão abordadas duas características muito importantes para o processo de solda por arco transferido na sede das válvulas, são elas: espessura da cabeça e raio do canal soldado. A Figura 3 nos mostra o detalhamento das regiões de uma válvula com solda na sede ou blindada.

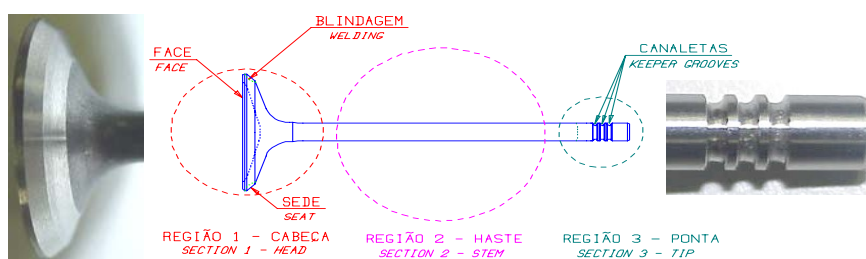


Figura 3. Detalhamento das regiões da válvula

### 2.3.1 Raio do canal soldado e espessura da cabeça da válvula

Para que a deposição de material sobre a sede da válvula seja efetivo, é necessário que se faça uma preparação do local a ser soldado. Esta preparação consiste na abertura do canal de solda que é feita através do torneamento da sede da válvula. Atualmente o canal a solda é torneado para a obtenção de um raio de 05 mm. Será testado um canal da solda de 04 mm para avaliar a redução dos defeitos de solda na sede.

Será testado também uma outra dimensão de espessura da cabeça da válvula com o intuito de avaliar se os defeitos de solda na sede podem estar sendo causados devida a variação desta característica.

## 2.4 Variável de Resposta – Integridade da Solda na Sede

A variável de resposta obtida por este experimento é definida como uma variável discreta, pois a avaliação da solda por plasma sobre a sede das válvulas é feita sobre o caráter da peça estar boa ou ruim.

A Figura 4, mostra alguns tipos de defeitos mais comumente encontrados na sede das válvulas soldadas por plasma de arco tranferido.

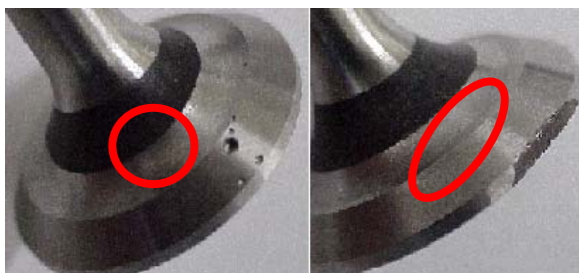


Figura 4. Defeito de furo na solda e defeito de solda aberta

Como o experimento proposto neste trabalho não pode ser realizado com dados discretos, a solução encontrada foi utilizar um coeficiente de peças boas e transformar este coeficiente em uma distribuição de Poisson, que é uma distribuição de probabilidade discreta. Quanto maior é o valor transformado, mais integra é a solda sobre a sede.

Para a obtenção do coeficiente de peças boas foram soldadas 20 válvulas para cada corrida experimental.

## 3 MÉTODO

Para a realização dos estudos foi feito um planejamento de fatoriais completos, onde todas as possíveis combinações entre os fatores e níveis estudados foram abordadas. Visto os quatro fatores e dois níveis selecionados para o estudo, foi obtido um experimento com 16 corridas.

Devido às dificuldades da alteração dos parâmetros do processo o estudo não foi randomizado, porém uma réplica do mesmo foi conduzida para a obtenção do p-valor. A tabela 1 mostra detalhadamente os fatores e níveis utilizados no estudo.

Tabela 1. Fatores e níveis utilizados no experimento

Fatores	Níveis	
	Baixo	Alto
Velocidade da Soldagem	08 Rpm	10 Rpm
Raio do Canal da Solda	04 mm	05 mm
Espessura da Cabeça	Normal	Modificada
Modelo do Bico	02 Furos	04 Furos

Os corpos de prova utilizados para o experimento foram as próprias válvulas automotivas produzidas pela empresa e os testes foram realizados nos

equipamentos alocados nas linhas de soldagem da empresa observando-se as respectivas normas e especificações de soldagem por plasma.

Para a obtenção da variável resposta, integridade da solda na sede, foram soldadas 20 válvulas para cada corrida experimental, visto que o experimento apresentou 32 corridas, já incluindo a réplica, chegamos a totalidade de 640 válvulas soldadas.

As peças soldadas foram separadas e identificadas conforme cada corrida experimental e todas as válvulas passaram pelo processo de retífica da sede para melhorar a visualização dos defeitos na área soldada.

A área soldada foi avaliada conforme padrões definidos pelos clientes e para cada corrida experimental foi encontrado um coeficiente de peças boas. Estes coeficientes foram transformados segundo a distribuição de Poisson, como explicado no item 2.4.

Para a avaliação da integridade da solda, podemos considerar que quanto maior é o valor obtido da transformação dos coeficientes segundo a distribuição de Poisson, maior é a integridade da solda sobre a sede.

A análise dos dados foi feita com a utilização do software de análises estatísticas Minitab® Release 14.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A criação do planejamento fatorial completo foi feito através do software Minitab® 14, onde todas as possíveis combinações dos fatores velocidade de soldagem, raio do canal da solda, espessura da cabeça e modelo do bico com seus respectivos níveis de trabalho são mostrados na Tabela 2. O planejamento gerado tem uma réplica e está disposto na ordem padrão da execução.

A variável resposta foi obtida através da avaliação da qualidade da solda na sede das válvulas experimentadas e as estimativas para os efeitos e para os coeficientes de cada termo são mostrados na Tabela 3. Na última coluna tem-se o valor da probabilidade ( $p$ ) de cada efeito, com base no qual se decide se os termos são significantes ou não.

Observando os valores de  $p$  obtidos (Tabela 3), somente os termos velocidade da solda, raio do canal, modelo do bico e espessura da cabeça\*modelo do bico tem os valores de  $p$  menor que 0,1, portanto, podemos dizer que estes termos são significantes.

A tabela de análise de variância (Tabela 4) testa os efeitos dos fatores principais e suas interações. Na última coluna temos o valor de  $p$  para cada efeito, com base no qual decidimos se o efeito é significativo ou não.

Observando os valores de  $p$  obtidos, menores que 0,1, que é o nível de significância adotado, vemos que, somente os efeitos dos fatores principais são significativos. Portanto, não será necessário incluir as interações no modelo, pois o valor de  $p$  é maior que 0,1. Sendo assim o estudo nos fornece o seguinte modelo:

$$\text{Resposta} = 8,848 - 0,2791 * \text{Velocidade da Solda} - 0,3233 * \text{Raio do Canal} - 0,6683 * \text{Modelo do Bico}$$

A Figura 5 representa o comportamento dos efeitos principais para a variável resposta. Um efeito principal ou forte ocorre quando a média das respostas muda através dos níveis de um fator e o gráfico de efeitos principais é usada para comparar a força relativa dos efeitos através dos fatores.

**Tabela 2.** Quadro do delineamento de experimentos e da variável resposta

StdOrder	Velocidade da Solda	Raio do Canal	Espessura da Cabeça	Modelo do Bico	Variável Resposta
1	08 Rpm	4 mm	Normal	02 Furos	10,0249
2	10 Rpm	4 mm	Normal	02 Furos	9,7724
3	08 Rpm	5 mm	Normal	02 Furos	10,0249
4	10 Rpm	5 mm	Normal	02 Furos	9,7724
5	08 Rpm	4 mm	Modificado	02 Furos	10,0249
6	10 Rpm	4 mm	Modificado	02 Furos	9,5131
7	08 Rpm	5 mm	Modificado	02 Furos	9,7724
8	10 Rpm	5 mm	Modificado	02 Furos	8,9721
9	08 Rpm	4 mm	Normal	04 Furos	9,5131
10	10 Rpm	4 mm	Normal	04 Furos	7,1062
11	08 Rpm	5 mm	Normal	04 Furos	7,7781
12	10 Rpm	5 mm	Normal	04 Furos	7,7781
13	08 Rpm	4 mm	Modificado	04 Furos	8,9721
14	10 Rpm	4 mm	Modificado	04 Furos	8,0931
15	08 Rpm	5 mm	Modificado	04 Furos	8,3964
16	10 Rpm	5 mm	Modificado	04 Furos	6,3638
17	08 Rpm	4 mm	Normal	02 Furos	7,7781
18	10 Rpm	4 mm	Normal	02 Furos	9,5131
19	08 Rpm	5 mm	Normal	02 Furos	9,5131
20	10 Rpm	5 mm	Normal	02 Furos	8,3964
21	08 Rpm	4 mm	Modificado	02 Furos	10,0249
22	10 Rpm	4 mm	Modificado	02 Furos	10,0249
23	08 Rpm	5 mm	Modificado	02 Furos	9,7724
24	10 Rpm	5 mm	Modificado	02 Furos	9,2466
25	08 Rpm	4 mm	Normal	04 Furos	10,0249
26	10 Rpm	4 mm	Normal	04 Furos	9,7724
27	08 Rpm	5 mm	Normal	04 Furos	9,2466
28	10 Rpm	5 mm	Normal	04 Furos	7,7781
29	08 Rpm	4 mm	Modificado	04 Furos	8,689
30	10 Rpm	4 mm	Modificado	04 Furos	7,7781
31	08 Rpm	5 mm	Modificado	04 Furos	6,3638
32	10 Rpm	5 mm	Modificado	04 Furos	7,1062

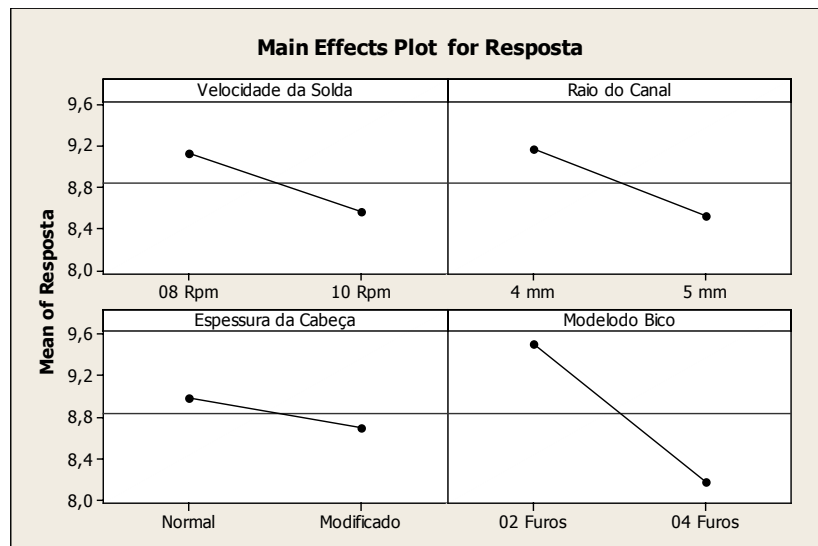
**Tabela 3.** Estimativa dos efeitos, coeficientes e valor de  $p$  para os fatores e interações

Termos	Efeito	Coef.	SE Coef.	T	P
Constant		8,8408	0,1437	61,53	0,000
Velocidade da Solda	-0,5583	-0,2791	0,1437	-1,94	0,069
Raio do Canal	-0,6465	-0,3233	0,1437	-2,25	0,038
Espessura da Cabeça	-0,2924	-0,1462	0,1437	-1,02	0,323
Modelo do Bico	-1,3367	-0,6683	0,1437	-4,65	0,000
Velocidade da Solda*Raio do Canal	-0,1235	-0,0617	0,1437	-0,43	0,673
Velocidade da Solda* Espessura da Cabeça	-0,0564	-0,0282	0,1437	-0,2	0,847
Velocidade da Solda*Modelo do Bico	-0,3427	-0,1714	0,1437	-1,19	0,249
Raio do Canal*Espessura da Cabeça	-0,2443	-0,1222	0,1437	-0,85	0,407
Raio do Canal*Modelo do Bico	-0,4957	-0,2479	0,1437	-1,73	0,103
Espessura da Cabeça*Modelo do Bico	-0,6119	-0,306	0,1437	-2,13	0,048
Velocidade da Solda*Raio do Canal*Espessura da Cabeça	0,0841	0,0421	0,1437	0,29	0,773
Velocidade da Solda*Raio do Canal*Modelo do Bico	0,3348	0,1674	0,1437	1,17	0,26
Veloc. da Solda*Espessura da Cabeça*Modelo do Bico	0,1874	0,0937	0,1437	0,65	0,523
Raio do Canal*Espessura da Cabeça*Modelo do Bico	0,061	0,0305	0,1437	0,21	0,834

**Tabela 4.** Análise de Variância

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	20,8145	20,8145	5,2036	7,88	0,001
2-Way Interactions	6	6,5262	6,5262	1,0877	1,65	0,195
3-Way Interactions	4	1,2642	1,2642	0,316	0,48	0,751
Residual Error	17	11,2309	11,2309	0,6606		
Pure Error	16	10,9982	10,9982	0,6874		
Total	31	39,8357				





**Figura 5.** Gráfico dos efeitos principais

Nota-se no gráfico de efeitos principais que a velocidade da solda, o raio do canal e o modelo do bico têm uma forte mudança das médias através dos dois níveis apresentados, enquanto a espessura da cabeça mostra uma mudança mais fraca para os níveis estudados.

Visto que uma melhor integridade da solda na sede é obtida quando os valores são maiores, conclui-se que quando se trabalha com os fatores em seus níveis mais baixos obtêm-se melhores resultados.

Sendo assim a tabela 5 apresenta os melhores parâmetros de soldagem por plasma de arco transferido sobre a sede das válvulas automotivas, visando o objetivo de melhorar o processo de soldagem através dos fatores estudados.

**Tabela 5.** Melhores parâmetros de soldagem

Parâmetros	Resultados
Velocidade da Solda	08 Rpm
Raio do Canal de Solda	04 mm
Espessura da Cabeça	Normal
Modelo do Bico	02 Furos

## 5 CONCLUSÕES

O planejamento estatístico de experimentos se apresentou como ferramenta de apoio muito eficaz na tomada de decisão, visto o objetivo do experimento de melhoria do processo de soldagem por plasma de arco transferido sobre a sede das válvulas automotivas.

Os parâmetros velocidade da solda, raio do canal da solda, espessura da cabeça e modelo do bico têm uma forte influência sobre a qualidade da solda por plasma de arco transferido sobre a sede das válvulas automotivas, porém a interação entre estes fatores não são significativos no processo.

Para a obtenção dos melhores índices de qualidade é necessário utilizar os parâmetros mostrados da Tabela 5, onde os níveis mais baixos apresentaram melhor resultado.

## REFERÊNCIAS

- 1 MONTGOMERY, D. C., 1991, Diseño y Análisis de Experimentos, Grupo Ed. Iberoamérica, Traduzido por Lic. Jaime Delgado Saldivar, Mexico,DF
- 2 DAVIS, J. R. Hardfacing, Weld Cladding and Dissimilar Metal Joining. ASM Handbook, v. 2.
- 3 FOLTRAN, B. B. Comparação dos Revestimentos de Superligas à Base de Cobalto (Co-Cr-W-C) Depositados por Eletrodo Revestido, Plasma por Arco Transferido e Laser. Dissertação de Mestrado, Curitiba, 2000.
- 4 AWS – American Welding Society, 1991, “Gas Tungsten Arc Welding” and “Plasma Arc Welding”, in: Welding Handbook, 8th ed., vol.2, pp73-107 and 329-250.
- 5 RICHETTI, A. Análise e Modelagem Empírico do Processo de Soldagem a Plasma com “Keyhole” em Aço Inoxidável. Dissertação de Doutorado, 2003